

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-285706

(43)Date of publication of application : 16.12.1991

(51)Int.Cl.

B21B 37/00  
B21B 37/00

(21)Application number : 02-088583

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 03.04.1990

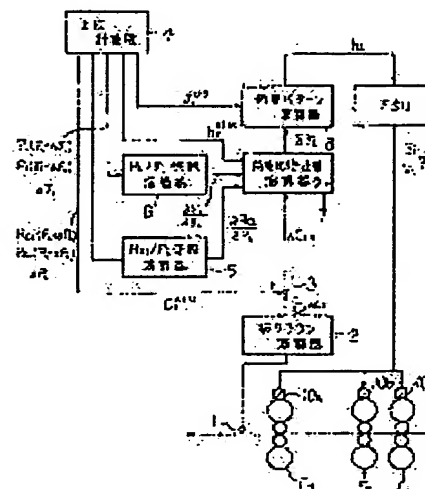
(72)Inventor : TSUGENO MASASHI  
MIYASHITA MAKOTO

## (54) CONTROLLER FOR ROLLING

## (57)Abstract:

PURPOSE: To improve the sheet profile of a rolled stock by calculating the thickness on the outlet side of each stand based on the correction quantity of load ratio and the load pattern of the rolled stock and outputting roll gap and the circumferential speed of roll.

CONSTITUTION: This controller for rolling is constituted of a detecting means 1 for sheet profile, a 1st calculating means 3 with which the deviation  $\Delta CrN$  between the actual value  $CrACT$  of sheet crown and the target value  $CrAIM$  is outputted, a 2nd calculating means 7 with which the correction quantity  $dri$  of load ratio is outputted based on the influence coefficient of load / load ratio and the target value  $hFAIM$  on the outlet side of the stand  $F1$  on the most downstream side, a 3rd calculating means 8 with which the thickness ( $hi$ ) on the outlet side of rolled stock is calculated which is newly rolled based on the correction quantity  $dri$  of load ratio and load pattern  $riOLD$  and a setting means 9 with which the roll gaps  $Si$  of each stand  $F1-Fn$  and the circumferential speed  $Vi$  of roll are set.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## ⑫ 公開特許公報(A)

平3-285706

⑤Int. Cl.<sup>5</sup>

B 21 B 37/00

識別記号

1 1 7 A  
B B M

庁内整理番号

7728-4E

⑬公開 平成3年(1991)12月16日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 11 頁)

⑭発明の名称 圧延制御装置

⑯特 願 平2-88583

⑰出 願 平2(1990)4月3日

⑱発明者 告野 昌史 東京都府中市東芝町1 株式会社東芝府中工場内  
 ⑱発明者 宮下 誠 東京都府中市東芝町1 株式会社東芝府中工場内  
 ⑲出願人 株式会社東芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地  
 ⑳代理人 弁理士 佐藤 一雄 外3名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

圧延制御装置

## 2. 特許請求の範囲

1. 与えられた圧延材に対して熱間ストリップ圧延を行なうべく設けられた複数スタンドの各々の圧延機を制御する圧延制御装置において、

一連の熱間ストリップ圧延が施された後の圧延材の板プロフィールを検出して出力する板プロフィール検出手段と、

検出された板プロフィールに基づいて演算された前記圧延材の板クラウン実績値

$C_r^{ACT}$ と、与えられた板クラウン目標値  $C_r^{AIM}$

とを比較して、それらの偏差

$\Delta C_rN$  ( $\Delta C_rN = C_r^{AIM} - C_r^{ACT}$ ) を求めて出力

する第1の演算手段と、

偏差  $\Delta C_rN$ と、クラウン比率計算値 ( $Rci$

$(PI + \Delta PI)$ 、 $Rci(PI - \Delta PI)$ 、

$\Delta PI$ ) から求められたクラウン比率/荷重影響

係数  $\frac{\delta Rci}{\delta PI}$  と、荷重計算値 ( $PI(\gamma I + \Delta \gamma I)$ 、

$PI(\gamma I - \Delta \gamma I)$ 、 $\Delta \gamma I$ ) から求められた

荷重/荷重比影響係数  $\frac{\delta PI}{\delta \gamma I}$  と、圧延材の移動方

向最下流側のスタンドにおける圧延材の出側目標値  $h_p^{AIM}$  とに基づいて荷重比修正量  $\delta \gamma I$  を求めて出力する第2の演算手段と、

荷重比修正量  $\delta \gamma I$  と、前記の圧延材の荷重パターン  $\gamma_i^{OLD}$  とに基づいて新たに圧延が施されるべき圧延材の荷重パターン  $\gamma_i^{NEW}$  を実現する各スタンド毎の圧延材の出厚  $h_i$  を演算する第3の演算手段と、

各スタンド毎の出厚  $h_i$  の出力を受けて、各スタンドにおけるロールギャップ  $SI$  及びロール周速  $Vi$  を設定して出力する設定手段と、

を備えたことを特徴とする圧延制御装置。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔発明の目的〕

## （産業上の利用分野）

本発明は鉄鋼或いは非鉄金属材料等の圧延材の熱間圧延を行なうタンデムミル（圧延機）において、良好な板プロフィール（圧延材のセンター部における板厚とエッジ部における板厚との間の差分や、比率クラウンによって表わされる。以下同じ）を得ることが可能な圧延制御装置に関するものである。

## （従来の技術）

帯板を熱間圧延するタンデムミルは、ホットストリップミルと称される（本明細書においては、上記ホットストリップミルを、「H S M」と略記することがある）。上述したタンデムミルにおいては、通常、圧延材たる前記帯板に対して熱間圧延を実施する前に、各スタンドのギャップやロール速度の設定等の前記タンデムミルの初期設定が行なわれるようになってきている。このような初期設定の実施に際しては、前記各スタンドにおける帯

板の出厚についても、予め各スタンド毎に決定しておく必要がある。この各スタンド毎の帯板の出厚の決定は、出厚の配分（即ち、パススケジュール）と称されている。この出厚の配分は、熱間圧延工程における製品たる圧延材の生産効率のみならず、例えば、圧延材たる帯板の板プロフィールや表面性状や板厚精度等の製品品質にも影響を及ぼす。よって上記出厚の配分は、重要な作業である。

そこで、従来より上記作業を行なうに際しては、以前より用いられている経験的に実績の有る圧延動力曲線（パワーカーブ）に基づいて各スタンド毎の帯板の出厚を求める方法によって代わって、新たな方法が提案され、実施されるようになってきている。該方法とは、各スタンドにおける主機モータのパワー配分以外の要素である帯板の平坦度や板プロフィール等を直接考慮して最適なパススケジュールを求めて上記作業を実施するという方法であり、この方法が次第に主流となってきた。この方法については、従来より種々の提案が行なわれており、これらの提案としては、例えば、

— 3 —

特開昭54-139862号公報を始め、特開昭55-64910号公報、特開昭57-209707号公報及び特開昭59-73108号公報に係るものが挙げられる。特開昭54-139862号公報に係る提案は、各パス（即ち、圧延材が各スタンドの圧延機を通過することをいう。以下同じ）の日標急峻度（平坦度）と日標厚、目標板クラウンに基づいてパススケジュールを決めるようになってきている圧延機の制御方法に関するものである。特開昭55-64910号公報に係る提案は、各パスの目標急峻度（平坦度）と目標厚、目標板クラウンに基づいてパススケジュールを、学習制御によって決めるようになってきている圧延機の学習制御方法に関するものである。又、特開昭57-209707号公報に係る提案は、圧延実績から求めた各スタンド圧下率配分を保存して、該保存した各スタンド圧下率配分を、ロット替え時にも反映させるようにした圧延パススケジュール設定方法に関するものである。更に、特開昭59-73108号公報に係る提案は、メカニ

— 4 —

カルクラウンと荷重の各モデル式に基づき逐次計算的手法にて、H S Mの最終スタンド板クラウン、板形状を目標値にするような最適パススケジュールを求める圧延機の圧下スケジュール設定方法に関するものである。

このように、最適なパススケジュールに基づいて前述した出厚の配分作業を実施する方法に関して種々のものが開発されるに至っている。

## （発明が解決しようとする課題）

ところで、上述した種々の提案に係るいずれの方法においても、製品たる圧延材の板プロフィールや形状を含む諸品質に対して直接影響を及ぼす各スタンドの荷重配分パターンについて、変更することができないという問題点がある。以下に、この問題点が生じる理由について説明する。

即ち、上記荷重パターンは、各スタンドにおける荷重  $P_1$  の最大の荷重  $P_{MAX}$  に対する比  $\gamma_1$  によって、  
以下のように表現される。

— 5 —

— 6 —

$$\gamma_i = \frac{P_i}{P_{MAX}} \quad (i = 1 \sim N) \dots\dots (1)$$

ここで、荷重比 $\gamma_i$ は、 $0 < \gamma_i \leq 1$ であり、前記各スタンド中の少なくとも1つのスタンドにおいては、 $\gamma_i = 1$ となる。然るに、実際の熱間圧延作業においては、各スタンドのロール摩耗状態や加熱炉におけるスラブの焼き方や粗ミルにおけるバススケジュール等の複雑な要因によって、しばしば荷重パターンが変更される。この荷重パターンの変更は、通常、理論的或いは解析的に求められた或る基準の最適バススケジュールに対して、実際に圧延が行なわれているときの圧延状態を考慮してオペレータによって行なわれる。よって、実際のHSMにおいて、バススケジュールを決定し、該決定したバススケジュールに基づいて前述した帯板の出厚等の設定計算を行なうシステムを実現する場合は、通常の（即ち、定常状態での）圧延作業を実施するときにはオペレータの上記のような介入なしに自動設定による良好な製品が得られることが必要であり、又、非定常状態で

- 7 -

な変化に対してオペレータが容易に介入し得るシステムでなければならないにも拘らず、最適バススケジュールの決定や前記システムにおけるオペレータの介入の容易性が実現されていないという問題点があった。このような問題点が生じるのは、前記最適バススケジュールの決定が各スタンドにおける荷重パターン $\gamma_i$ を介して行なわれていないことが最大の原因であり、そのためにHSMにおけるバススケジュールの決定方法を有効に用いることが不可能であるという結果を招来していた。

従って本発明は、上述した問題点を解消するためになされたもので、その目的は、製品たる圧延材の板プロフィールを良好となし実機操業にフレキシブルに対応が可能な圧延制御装置を提供することにある。

〔発明の構成〕

（課題を解決するための手段）

上記目的を達成するために、本発明は、与えられた圧延材に対して熱間ストリップ圧延を行なうべく設けられた複数スタンドの各々の圧延機を制

の圧延作業においては、オペレータが容易に介入することができる手段が予め準備されているシステム構成としておくことが重要である。そのためには、前記オペレータにとっての直接的な指標である荷重パターン $\gamma_i$ を介して最適バススケジュールを与えることが必要となる。

しかしながら、従来のHSMにおける前記の帯板の出厚等の設定計算を行なうシステムにおいては、前述した夫々に特徴ある方法によって最適バススケジュールを与えることが理論上は可能であるとしても、実際に荷重パターン $\gamma_i$ を前記システムに対して直接操作することが困難であるという重大な不具合があるので、前記各種提案に係る方法が前記システムにおいて必ずしも有効に作用しているとは言えない状態であった。

上記内容から明らかなように、従来のHSMにおけるバススケジュールの決定方法においては、前述のごとく製品たる圧延材の板プロフィールや形状等の品質を考慮して最適バススケジュールを求めるとともに、圧延作業時における諸条件の多様

- 8 -

御する圧延制御装置において、一連の熱間ストリップ圧延が施された後の圧延材の板プロフィールを検出して出力する板プロフィール検出手段と、検出された板プロフィールに基づいて演算された

前記圧延材の板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ と、与えられた板クラウン目標値 $C_r^{AIM}$ とを比較して、それらの偏差 $\Delta C_{rN}$  ( $\Delta C_{rN} = C_r^{AIM} - C_r^{ACT}$ ) を求めて出力する第1の演算手段と、偏差 $\Delta C_{rN}$ と、クラウン比率計算値 ( $Rci(P_i + \Delta P_i)$ ),  $Rci(P_i - \Delta P_i)$ ,  $\Delta P_i$ ) から求められたクラウン比率/荷重影響係数  $\frac{\delta Rci}{\delta P_i}$  と、

荷重計算値

( $P_i(\gamma_i + \Delta \gamma_i)$ ),  $P_i(\gamma_i - \Delta \gamma_i)$ ,  $\Delta \gamma_i$ ) から求められた荷重/荷重比影響係数  $\frac{\delta P_i}{\delta \gamma_i}$  と、圧延材の移動方向最下流側のスタンド

における圧延材の出側目標値 $h_F^{AIM}$ に基づいて荷重比修正量 $\delta \gamma_i$ を求めて出力する第2の演算

手段と、荷重比修正量 $\delta \gamma_i$ と、前記圧延材の荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ とに基づいて新たに圧延が施されるべき圧延材の荷重パターン $\gamma_i^{NEW}$ を実現する各スタンド毎の圧延材の出厚 $h_i$ を演算する第3の演算手段と、各スタンド毎の出厚 $h_i$ の出力を受けて、各スタンドにおけるロールギャップ $S_i$ 及びロール周速 $V_i$ を設定して出力する設定手段と、を備えた構成とした。

#### (作 用)

上記構成において、板プロフィール検出手段は、一連の熱間ストリップ圧延が施された後の圧延材の板プロフィールを検出して出力し、第1の演算手段は、検出された板プロフィールに基づいて演算された前記圧延が施された後の圧延材の板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ と、与えられた板クラウン目標値 $C_r^{AIM}$ とを比較して、それらの偏差 $\Delta C_rN$  ( $\Delta C_rN = C_r^{AIM} - C_r^{ACT}$ ) を求めて出力し、第2の演算手段は、偏差 $\Delta C_rN$ と、クラウン比率計算値 ( $Rci(P_i + \Delta P_i)$ ,  $Rci(P_i - \Delta P_i)$ ,  $\Delta P_i$ ) から求められたクラウン比率

- 11 -

#### (実施例)

以下、図面により本発明の一実施例について説明する。

第1図は、本発明の一実施例に従う圧延制御装置の構成を示したブロック図である。

本発明の一実施例に従う圧延制御装置は、熱間ストリップ圧延を実施するために設けられているNスタンドの圧延機 $F_1 \sim F_N$ を制御するものである。即ち、本実施例に係る圧延制御装置は、プロフィール計1を始め、板クラウン演算器2、比較器3、上位計算機4、 $Rci/P_i$ 係数演算器5、 $P_i/\gamma_i$ 係数演算器6、荷重比修正量演算器7、荷重パターン演算器8、設定計算装置(FSU)9及び圧下装置10A~10Nを具備した構成となっている。上述した構成の圧延制御装置に関して更に説明すれば、以下のようである。

即ち、プロフィール計1は、並設されているNスタンドの圧延機 $F_1 \sim F_N$ のうち、圧延材の移動方向最下流側に位置しているN番目のスタンドの圧延機 $F_N$ の出側に配設されている。プロフィール

／荷重影響係数 $\frac{\delta Rci}{\delta P_i}$ と、荷重計算値

( $P_i(\gamma_i + \Delta \gamma_i)$ ,  $P_i(\gamma_i - \Delta \gamma_i)$ ,  $\Delta \gamma_i$ ) から求められた荷重／荷重比影響係数 $\frac{\delta P_i}{\delta \gamma_i}$ と、圧延材の移動方向最下流側のスタンド

における圧延材の出側目標値 $h_F^{AIM}$ とに基づいて荷重比修正量 $\delta \gamma_i$ を求めて出力し、第3の演算手段は、荷重比修正量 $\delta \gamma_i$ と、前記圧延が施さ

れた後の圧延材の荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ とに基づいて新たに圧延が施されるべき圧延材の荷重パターン $\gamma_i^{NEW}$ を実現する各スタンド毎の圧延材の出厚 $h_i$ を演算し、設定手段は、各スタンド毎の出厚 $h_i$ の出力を受けて、各スタンドにおけるロールギャップ $S_i$ 及びロール周速 $V_i$ を設定して出力することとしたので、製品たる圧延材の板プロフィールを良好となし、実機操業にフレキシブルに対応が可能となった。

- 12 -

計1は、上述したNスタンドの $F_1 \sim F_N$ の圧延機より成るタンデムミルにおいて、熱間ストリップ圧延が施された後の圧延材の板プロフィールを検出して、該検出結果を、板クラウン演算器2に出力するようになっている。ここで、上述したプロフィール計1から出力される板プロフィール検出信号は、後に詳述する荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ 、各スタンド1~Nにおける圧延材の出厚 $h_i$ に基づく設定計算によって熱間ストリップ圧延が施された後の圧延材の板プロフィールを示している。

なお、上記板プロフィール計1としては、例えば、圧延材の幅方向の板厚をX線を照射することによって測定する装置が用いられている。

一方、圧下装置10A~10Nは、前記並設されているNスタンドの圧延機 $F_1 \sim F_N$ に夫々対応して配設されている。圧下装置10Aは、圧延材の移動方向最上流側に位置している1番目のスタンドの圧延機 $F_1$ に、圧下装置10Bは、圧延機 $F_2$ に、更には圧下装置10Nは、圧延機 $F_N$ に、夫々対応して配設されている。なお、第1図

においては、図示の都合上、1番目のスタンドの圧延機F1、2番目のスタンドの圧延機F2及びN番目のスタンドの圧延機FNのみを示すこととした。上述した各々の圧下装置10A~10Nは、設定計算装置(FSU)9から各スタンド毎に出力される各スタンド毎に計算され設定されたロールギャップ値Siに基づいて夫々のロールの圧下レベリング量を可変調整するように構成されている。

前述した板クラウン演算器2は、プロフィール計1から出力された一連の熱間ストリップ圧延が施された後の圧延材の板プロフィール検出信号を受ける。板クラウン演算器2は、前記板プロフィール検出信号に基づき、前記圧延が施された後の圧延材の板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ を求めて、この求めた板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ を、比較器3に出力する。ここで、上記板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ は、前記内容から明らかなように、前述した荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ に基づいて前記圧延材に対して熱間ストリップ圧延を施した後の実績値である。よって、上

記体クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ は、前述した荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ の影響を強く受けていることとなる。

上位計算機4は、前記熱間ストリップ圧延が施されるべき圧延材の板クラウン目標値 $C_r^{AIM}$ を、前記比較器3に出力する。上位計算機4は、クラ

ウン比率/荷重影響係数 $\frac{\delta Rcl}{\delta Pi}$ を演算するの

に必要なデータとして $Rcl(Pi + \Delta Pi)$ (即ち、i番目のスタンドの圧延機における荷重がPiのときの該圧延機の出側クラウン比率、ここで、 $\Delta Pi$ は荷重の微小差分であり、例えば、 $\Delta Pi = 0.02 \cdot Pi$ を与えるものとする)、 $Rcl(Pi - \Delta Pi)$ 及び $\Delta Pi$ の値を、 $Rcl/Pi$ 係数演算器5に出力する。上位計算機4は、又、荷重/荷重比影響係数

$\frac{\delta Pi}{\delta Pi}$ を演算するのに必要なデータとして、 $Pi(\gamma_i + \Delta \gamma_i)$ 、 $Pi(\gamma_i - \Delta \gamma_i)$ 、及び $\Delta \gamma_i$ の値を、 $Pi/\gamma_i$ 係数演算器6に出力するようになっている。上位計算機4は、又、

- 15 -

前記N番目のスタンドの圧延機における圧延材の出側目標厚 $h_p^{AIM}$ を、荷重比修正量演算器7に出力するようになっている。上位計算機4は、更に、前記熱間ストリップ圧延が施されるべき圧延材の該圧延工程における各々のスタンドの圧延機での荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ ( $i = 1 \sim N$ )を、荷重パターン演算器8に出力するように構成されている。

比較器3は、板クラウン演算器2から出力される前記板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ と、上位計算機4から出力される前記板クラウン目標値 $C_r^{AIM}$ とを受けて、それらの偏差 $\Delta CrN$ (即ち、 $\Delta CrN = C_r^{AIM} - C_r^{ACT}$ )を求める。比較器3は、上記のようにして求めた偏差 $\Delta CrN$ を、荷重比修正量演算器7に対して出力する。

$Rcl/Pi$ 係数演算器5は、上位計算機4から出力された前記データ $Rcl(Pi + \Delta Pi)$ 、 $Rcl(Pi - \Delta Pi)$ 及び $\Delta Pi$ を受ける。 $Rcl/Pi$ 係数演算器5は、上記データを受けて、通常の差分式である下記の(2)式に基づき

- 16 -

クラウン比率/荷重影響係数 $\frac{\delta Rcl}{\delta Pi}$ を演算する。

$$\frac{\delta Rcl}{\delta Pi} = \frac{Rcl(Pi + \Delta Pi) - Rcl(Pi - \Delta Pi)}{2 \cdot \Delta Pi} \dots (2)$$

$Rcl/Pi$ 係数演算器5は、上記(2)式によっ

て求めたクラウン比率/荷重影響係数 $\frac{\delta Rcl}{\delta Pi}$

の値を、前記荷重比修正量演算器7に出力する。

$Pi/\gamma_i$ 係数演算器6は、上位計算機4から出力された前記データ $Pi(\gamma_i + \Delta \gamma_i)$ 、 $Pi(\gamma_i - \Delta \gamma_i)$ 及び $\Delta \gamma_i$ を受ける。 $Pi/\gamma_i$ 係数演算器6は、上記データを受けて、通常の差分式である下記の(3)式に基づき荷重/荷

重比影響係数 $\frac{\delta Pi}{\delta \gamma_i}$ を演算する。

$$\frac{\delta Pi}{\delta \gamma_i} = \frac{Pi(\gamma_i + \Delta \gamma_i) - Pi(\gamma_i - \Delta \gamma_i)}{2 \cdot \Delta \gamma_i} \dots (3)$$

- 17 -

- 35 -

- 18 -

$P_i / \gamma_i$  係数演算器 6 は、上記 (3) 式によって求めた荷重/荷重比影響係数  $\frac{\delta P_i}{\delta \gamma_i}$  の値を、前

記荷重比修正量演算器 7 に出力する。

荷重比修正量演算器 7 は、比較器 3 から出力される前記偏差  $\Delta C_{rN}$  と、 $R_{ci} / P_i$  係数演算器 5 から出力される前記クラウン比率/荷重影響係数  $\frac{\delta R_{ci}}{\delta P_i}$  と、 $P_i / \gamma_i$  係数演算器 6 から出力される前記荷重/荷重比影響係数  $\frac{\delta P_i}{\delta \gamma_i}$  と、上位

計算機 4 から出力される前記 N 番目のスタンドの圧延機における圧延材の出側目標厚値  $h_F^{AIM}$  とを受ける。荷重比修正量演算器 7 は、前記各データを受けて、下記の (4) 式、(5) 式に基づき、新たに熱間ストリップ圧延を行なおうとする圧延材のパススケジュールを決定するための荷重比修正量  $\delta \gamma_i$  を演算する。

$$\frac{\delta R_{ci}}{\delta P_i} \cdot \frac{\delta P_i}{\delta \gamma_i} \cdot \delta \gamma_i = \frac{\Delta C_{rN}}{h_F^{AIM}} (i=1 \sim N) \quad \dots (4)$$

- 19 -

て、以下に記載するような演算プロセスを経ることにより前記各スタンドの圧延機毎の圧延材の出厚  $h_i$  (即ち、新たに熱間ストリップ圧延を行なおうとする圧延材において、荷重パターン  $\gamma_i^{NEW}$  を実現するための各スタンドの圧延機毎のパススケジュール) を演算する。まず、新たに前記圧延を行なおうとする圧延材の熱間ストリップ圧延工程において実現すべき前記荷重パターン  $\gamma_i^{NEW}$  を、下記の (6) 式によって求める。

$$\gamma_i^{NEW} = \gamma_i^{OLD} + \delta \gamma_i \quad (i=1 \sim N) \quad \dots (6)$$

この荷重パターン  $\gamma_i^{NEW}$  になるための各スタンドの圧延機毎の圧延材の出厚  $h_i$  の演算は、Newton-Raphson 法を用いて行なう。ここで、荷重パターンの定義は、下記の (7) 式によって与えられる。

$$\gamma_i = \frac{P_i}{P_{MAX}} \quad (i=1 \sim N) \quad \dots (7)$$

上記 (7) 式にて示した  $P_{MAX}$  の値は、 $P_i$  の値のうちの最大値 (即ち、最大荷重値) を表わして

$$\delta \gamma_i = \frac{\Delta C_{rN}}{h_F^{AIM}} / \left( \frac{\delta R_{ci}}{\delta P_i} \cdot \frac{\delta P_i}{\delta \gamma_i} \right) (i=1 \sim N) \quad \dots (5)$$

上記の (4) 式と (5) 式とは、前述した圧延材の圧延実績における板クラウン偏差  $\Delta C_{rN}$  を、前記各スタンドの荷重配分パターンを変化させることによって前記各スタンド毎に均等に割り振って吸収させるようにした作用を示している。なお、前掲の (2) 式～(5) 式を使用した各々の演算は、当然に、前記 N スタンドのすべての圧延機について個別に実施される。荷重比修正量演算器 7 は、上記のようにして求めた各スタンド毎の荷重比修正量  $\delta \gamma_i$  ( $i=1 \sim N$ ) を、荷重パターン演算器 8 に対して出力する。

荷重パターン演算器 8 は、荷重比修正量演算器 7 から出力された前記各スタンド毎の荷重比修正量  $\delta \gamma_i$  ( $i=1 \sim N$ ) と、上位計算機 4 から出力された前記各々のスタンドの圧延機での荷重パターン  $\gamma_i^{OLD}$  ( $i=1 \sim N$ ) とを受ける。

荷重パターン演算器 8 は、前記各データを受け

- 20 -

いる。従って  $P_i$  の値をすべて  $P_i > 0$  とすれば、 $0 < \gamma_i \leq 1 \quad \dots (8)$

となる。各スタンドの圧延機毎の圧延材の出厚  $h_i$  と、各スタンドの圧延機毎のロール速度  $V_i$  とが満たすべき関係は、マスフロー 1 定則と前掲の (7) 式より与えられる荷重パターンとによって示される。又、各スタンドの圧延機毎の圧延材の出厚のうち、最終スタンド (即ち、圧延材の移動方向最下流側に位置せしめられているスタンド)  $F_N$  の圧延機における圧延材の出厚については、 $h_N = h_F^{AIM}$  で与えられているので、該出厚の値は、既知数である。同様に、前記最終スタンド  $F_N$  の圧延機におけるロール周速  $V_N$  は、別に前記最終スタンド  $F_N$  の圧延機における出側材温を達成するために、別途温度モデルにより与えられているので、該ロール周速  $V_N$  も既知数である。更に最初のスタンド (即ち、圧延材の移動方向最上流側に位置せしめられているスタンド)  $F_1$  の圧延機における圧延材の入側厚 (即ち、圧延工程実施前における圧延材の厚み)  $h_0$  についても、

実績値或いは操業（圧延作業）上の目標値として与えられているので、既知数である。

ここで、マスフロー 1 定則は、下記の (9) 式によって表わすことができる。

$(1 + f_i) \cdot h_i \cdot V_i = U (i=1 \sim N) \dots (9)$   
荷重パターンとの関係は、前掲の (7) 式を、互いに隣接するスタンド同士の間で辺々除して得られた下記の (10) 式にて表わすことができる。

$$\frac{\tau_i}{\tau_{i-1}} = \frac{P_i}{P_{i-1}} \quad (i=2 \sim N) \quad \dots (10)$$

$\therefore \tau_i \cdot P_{i-1} = \tau_{i-1} \cdot P_i \dots (11)$  が得られる。

ここで、 $f_i$  :  $i$  番目のスタンドの圧延機における先進率（単位なし）、 $U$  : 体積速度 ( $\text{mm} \cdot \text{rpm}$ )、 $h_i$  : 出厚 ( $\text{mm}$ )、 $V_i$  : ロール周速 ( $\text{rpm}$ ) である。(9) 式と (11) 式とは、合計  $(2N-1)$  本の方程式である。又、未知数は、 $h_i (i=1 \sim N-1)$ 、 $V_i (i=1 \sim N-1)$ 、 $U$  であり、合計  $(N-1) + (N-1) + 1 = 2N-1$  個であるから、過不足なく解くことができる。

- 23 -

クス、 $X_K$  :  $K$  回目の解、 $0$  : 零ベクトルである。ここで、ヤコビアンマトリクス  $J$  は、下記の (16) 式にて表わされる。

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\delta g_1}{\delta x_1} & \frac{\delta g_1}{\delta x_2} & \dots & \frac{\delta g_1}{\delta x_{2N-1}} \\ \frac{\delta g_2}{\delta x_1} & & & \\ \vdots & & & \\ \frac{\delta g_{2N-1}}{\delta x_1} & \dots & \dots & \frac{\delta g_{2N-1}}{\delta x_{2N-1}} \end{bmatrix} \quad \dots (16)$$

上記 (16) 式において、各項の偏微分は、勿論、数値的に行なう。ここで、 $x_j$  は、ベクトル  $X$  の  $j$  番目の成分である。上記ヤコビアンマトリクスの  $J$  の各成分は、既知数であり、例えば、 $g_j (j=1 \sim N)$  のときの  $h_i$  による偏微分は、下記の (17) 式にて示すように行なう。

$$\frac{\delta g_j}{\delta h_i} = \frac{\delta f_i}{\delta h_i} \cdot h_i \cdot V_i + (1 + f_i) \cdot V_i \dots (17)$$

る。前記 (9) 式と前記 (11) 式とを、下記の (12) 式にて示すように置く。

$$\left. \begin{aligned} g_j &= (1 + f_i) \cdot h_i \cdot V_i - U \\ g_j &= \tau_i \cdot P_{i-1} - \tau_{i-1} \cdot P_i \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

ここで、 $j=1 \sim N$  では、 $j=i$ 、 $j=N+1 \sim 2N-1$  では、 $j=i+N-1 (i=2 \sim N)$  なる関係がある。 $g_j$  を、 $2N-1$  本並べて、ベクトル  $g$  とする。つまり、 $g$  は列ベクトルであり、下記の (13) 式にて表わすことができる。

$$g = [g_1 \ g_2 \ \dots \ g_{2N-1}]^T \quad \dots (13)$$

上記 (13) 式において、 $( )^T$  は列ベクトル  $g$  の転置を表わす。又、前掲の未知数に関しても、ベクトル  $X$  に並べて、下記の (14) 式に示すように置く。

$$X = [h_1 \ h_2 \ \dots \ h_{N-1} \ V_1 \ V_2 \ \dots \ V_{N-1} \ U]^T \dots (14)$$

上記 (13) 式と (14) 式とに、前述した Newton-Raphson 法を適用すると、下記の (15) 式が得られる。

$$J \cdot (X_K - X_{K-1}) + g(X_{K-1}) = 0 \dots (15)$$

上記 (15) 式において、 $J$  : ヤコビアンマトリ

- 24 -

上記 (17) 式は、 $j=i$  の場合を表わしている。

ここで、 $\frac{\delta f_i}{\delta h_i}$  は、 $h_i$  の微小差分  $\Delta h_i$  を与えて、下記の (18) 式で計算する。

$$\frac{\delta g_j}{\delta h_i} = \frac{f_i(h_i + \Delta h_i) - f_i(h_i - \Delta h_i)}{2 \cdot \Delta h_i} \dots (18)$$

Newton-Raphson 法では、或る初期値を与える必要がある。初期値を  $X_0$  とすると、前掲の (15) 式より、 $J \cdot (X_1 - X_0) + g(X_0) = 0$  が得られる。この式に基づいて、下記の (19) 式にて収束計算を行なう。

$$\text{iteration} \left\{ \begin{aligned} X_1 &= X_0 - J^{-1} \cdot g(X_0) \\ X_K &= X_{K-1} - J^{-1} \cdot g(X_K) \end{aligned} \right\} \dots (19)$$

上記 (19) 式にて収束計算を行ない、或る評価式が誤差範囲内に入ると収束と見做し、 $X_C = X_K$  で  $X_C$  が解である。ここで、 $J^{-1}$  は前記ヤコビアンマトリクス  $J$  の逆マトリクスを表わしている。

以上説明したような過程を経ることによって、 $\gamma_i = \gamma_i^{NEW}$  なる関係を満たす  $h_i$ ,  $V_i$ ,  $U$  の組を求めることとなる。荷重パターン演算器 8 は、上記のようにして求めた値のうち、新たに熱間ストリップ圧延を行なうべき圧延材の出厚  $h_i$  の値とロール周速  $V_i$  の値とを、設定計算装置 (FSU) 9 に出力する。

設定計算装置 (FSU) 9 は、荷重パターン演算器 8 から出力された前記出厚  $h_i$  の値と前記ロール周速  $V_i$  の値とを受けて、各スタンド毎の圧延機のロールギャップ  $S_i$  及び各スタンド毎の圧延機のロール周速  $V_i$  を求める。設定計算装置 (FSU) 9 は、前記求めた各スタンド毎の圧延機のロールギャップ  $S_i$  については、各スタンドの圧延機毎に設けられている圧下装置 10A ~ 10N に対してそれぞれ対応するロールギャップ値  $S_i$  を出力し、一方、各スタンド毎の圧延機のロール周速  $V_i$  については、各スタンド毎の圧延機の主機モータ駆動装置 (図示しない) に対して出力する。上記各圧下装置 10A ~ 10N は、夫

々前記各ロールギャップ値  $S_i$  を受けて各スタンド毎の圧延機のロールギャップを所定の値に設定する。一方、上記各スタンド毎の主機モータ駆動装置 (図示しない) は、前記ロール周速値  $V_i$  を受けて各スタンド毎の圧延機のロール周速を所定値に設定する。

このようにして各スタンド毎の圧延機のロールギャップ及びロール周速を所定値に設定し、新たな圧延材に対して熱間ストリップ圧延を行なうことによって、各スタンド毎の圧延機の荷重  $P_i$  は、前述した荷重パターン  $\gamma_i^{NEW}$  と一致し、これによって良好な板プロフィルの製品を得ることが可能となる。

第 2 図は、本発明の一実施例に従う圧延制御装置に係る同一ロットの連続するコイル (圧延材) (A → B → C) におけるパススケジュールと板クラウン実績値  $C_r^{ACT}$  の変化を示す模式図である。第 2 図では、簡単のため、スタンド数  $N$  を  $N=5$  とし、A → B → C の 3 つのコイル (圧延材) のパススケジュールと該パススケジュールに基づく荷

- 27 -

重パターン及び熱間ストリップ圧延実施後の板プロフィルを示すこととした。

第 2 図において、板プロフィルは、破線が目標値、実線が実績値で、両者の間の差が明確になるように両者を板厚方向に誇張して記載している。第 2 図を参照すれば、本発明の一実施例に従う圧延制御装置を適用して各スタンド毎の圧延機における荷重パターンを変化させることにより、製品たる圧延材の板プロフィルが、目標値に近づいて行くことが明らかとなる。

第 3 図は、本発明の一実施例に従う圧延制御装置に係る荷重パターン演算器 8 における Newton-Raphson 法による収束計算のシミュレーション例を示した図である。

第 3 図において、 $h_0 = 2.2 \text{ mm}$  →  $h_5 = 1.5 \text{ mm}$  の場合で、3 回の繰り返し計算にて収束している。第 3 図中の収束板厚を  $h_i$  としてこの収束板厚  $h_i$  に基づき設定計算装置 (FSU) 9 が設定計算を行えば、板クラウン偏差  $\Delta C_{RN}$  が減少する方向の荷重パターンを実現するパススケジュー

- 28 -

ル  $h_i$  が得られ、良好な板プロフィルの製品コイル (圧延材) を生産することが可能となる。ここで、Newton-Raphson 法による収束計算を荷重パターン演算器 8 に適用する場合に留意すべき点は、初期解の与え方と、収束安定性である。これについては、ヤコビアンマトリクス  $J$  の各項の符号 (非 0) を解析的に調べて、必ず、逆マトリクス  $J^{-1}$  が得られることを確認し、さらに、初期解  $X_0$  は、板厚  $h$  については各スタンドの許容最大圧下率  $\gamma_i^*$  に応じて、分配することにより安定して収束することを確認した。この方法は、初期板厚を与える圧下率  $\gamma_i$  を

$$\gamma_i = 1 - (1 - \gamma_i^*) \cdot \left( \frac{1 - \gamma_{total}}{1 - \gamma_{total}^*} \right)^{\frac{1}{N}} \quad \dots (20)$$

で求めるもので、ここに、 $\gamma_{total}$  :  $N$  スタンド

$$\text{の総圧下率} \quad (\gamma_{total} = \frac{h_0 - h_N}{h_0}) \cdot \gamma_{total}^* :$$

許容最大総圧下率 ( $\gamma_{total} = 1 - (1 - \gamma_1^*) \cdot (1 - \gamma_2^*) \cdots (1 - \gamma_N^*)$ ) である。

- 29 -

- 30 -

このように本発明に従う一実施例に係る圧延制御装置によれば、安定して収束し必ず目標荷重パターン $\gamma_i^{NEW}$ を達成するパススケジュール $h_i$ が求められるため、実機操業に外乱を与えることなく、良好な板プロフィールの製品コイル（圧延機）を生産することが可能となった。

又、本発明の一実施例に従う圧延制御装置によれば、各ロットにおいて、前回の圧延作業実施時の荷重パターン $\gamma_i$ を保存しておき、次の圧延作業実施時に、該保存した荷重パターン $\gamma_i$ を次の圧延作業時に初期荷重パターンとして用いることも可能となった。

〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、荷重比修正量 $\delta\gamma_i$ と、圧延が施された後の圧延材の荷重パターン $\gamma_i^{OLD}$ とに基づいて新たに圧延が施されるべき圧延材の荷重パターン $\gamma_i^{NEW}$ を実現する各スタンド毎の圧延材の出厚 $h_i$ を演算し、各スタンド毎の出厚 $h_i$ の出力を受けて、各スタンドにおけるロールギャップ $S_i$ 及びロール周速 $V_i$

を設定して出力することとしたので、製品たる圧延材の板プロフィールを良好となし、実機操業にフレキシブルに対応が可能な圧延制御装置を提供することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の一実施例に従う圧延制御装置の構成を示したブロック図、第2図は、本発明の一実施例に従う圧延制御装置に係る同一ロットの連続するコイル（圧延材）（A→B→C）におけるパススケジュールと板クラウン実績値 $C_r^{ACT}$ の変化を示す模式図、第3図は、本発明の一実施例に従う圧延制御装置に係る荷重パターン演算器8におけるNewton-Raphson法による収束計算のシミュレーション例を示した図である。

1…プロフィール計、2…板クラウン演算器、3…比較器、4…上位計算機、5…RLI/PI係数演算器、6…PI/ $\gamma_i$ 係数演算器、7…荷重比修正量演算器、8…荷重パターン演算器、9…設定計算装置（FSU）、10A～10N…圧下袋

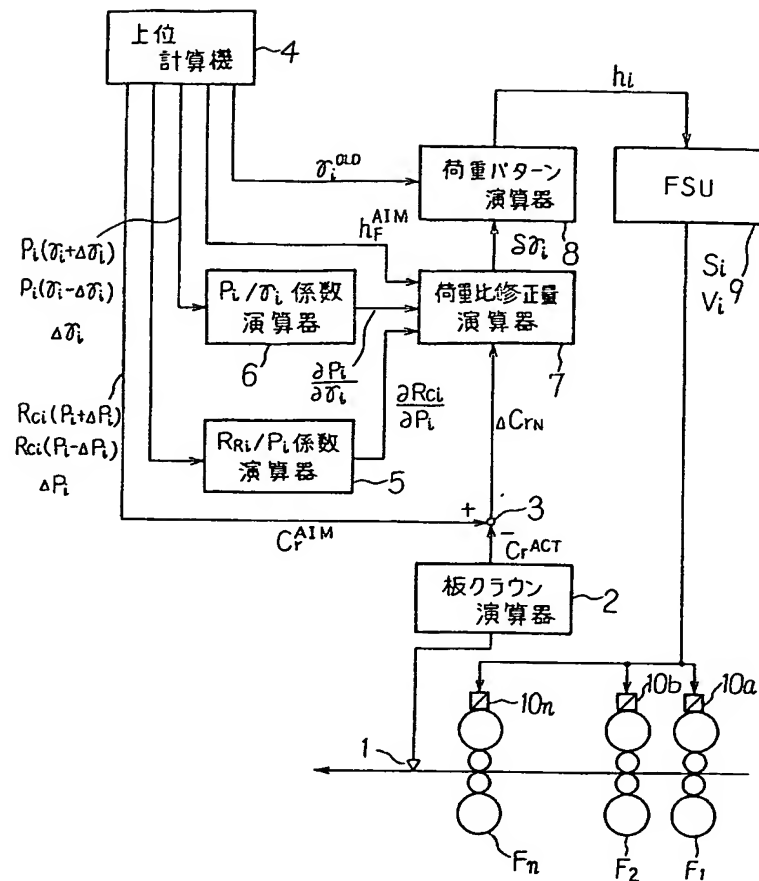
— 31 —

置、F1～FN…スタンド。

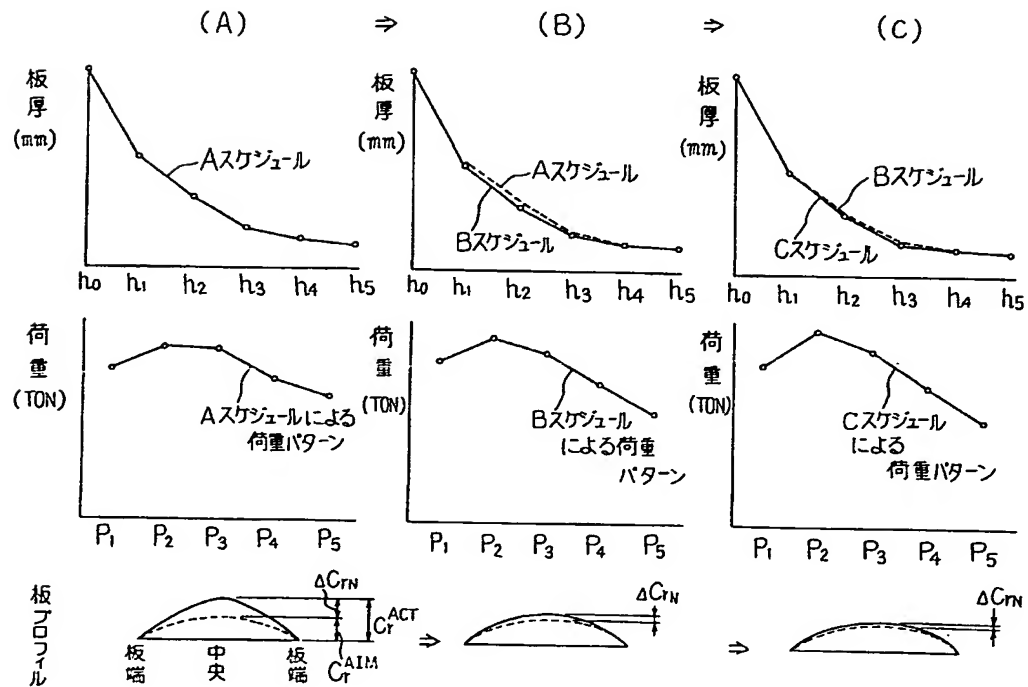
— 32 —

出願人代理人 佐 藤 一 雄

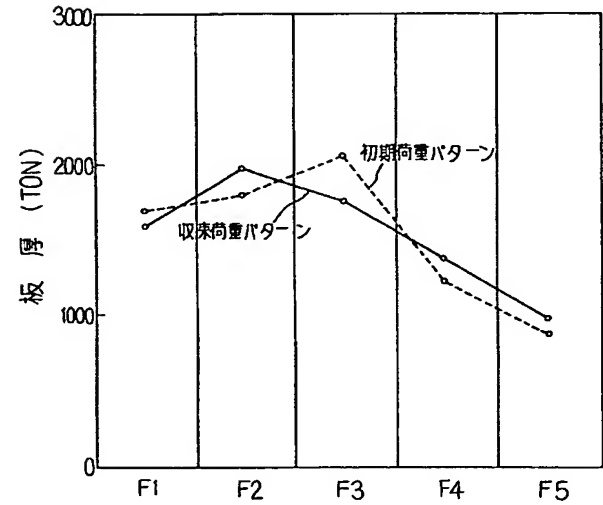
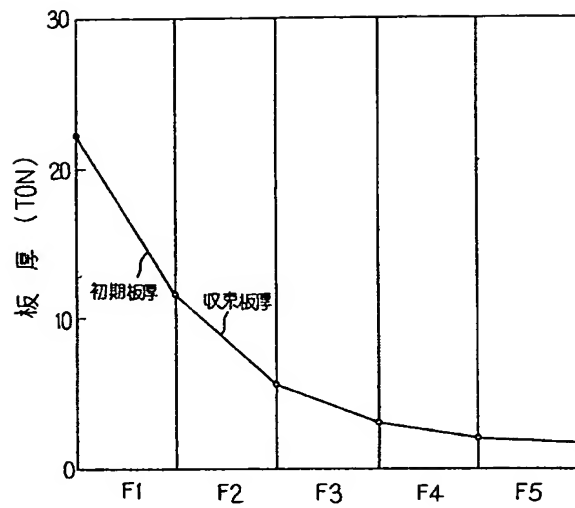
— 33 —



第1図



第2図



荷重パターン法の計算結果 (仕上厚 1.5 mm の場合)  
 初期板厚  $h_1$ : 22 mm → 11 mm → 5.5 mm → 2.75 mm → 1.9 mm → 1.5 mm  
 $\alpha_i$  (目標値): 0.800 1.000 0.900 0.700 0.500  
 $\alpha_i$  (収束値): 0.800 1.000 0.899 0.697 0.496

第3図